

钢纤维对水工混凝土力学性能试验的研究

王 栋

陕西水利水电工程集团有限公司 陕西 西安 710000

摘 要: 钢纤维混凝土作为一种高性能复合材料,在水工建筑等领域具有显著优势。本文通过试验研究了钢纤维对水工混凝土力学性能的影响,包括抗压强度、抗剪强度、抗弯强度和劈裂抗拉强度。结果表明,适量钢纤维的加入能显著提升混凝土的抗折和劈裂抗拉强度,但对抗压强度的提升相对有限。钢纤维的掺量、长径比及类型等因素对力学性能有显著影响。

关键词: 钢纤维;水工混凝土;力学性能;试验

引言

钢纤维混凝土作为一种创新的复合材料,因其优异的力学性能而在多个工程领域得到广泛应用。本文旨在探讨钢纤维对水工混凝土力学性能的影响,通过试验研究揭示钢纤维对混凝土抗压、抗剪、抗弯及劈裂抗拉强度的增强机理,这不仅有助于深入理解钢纤维混凝土的力学特性,还为工程实践中钢纤维混凝土的应用提供了理论支撑。

1 钢纤维混凝土的基本性能

1.1 钢纤维混凝土的组成与分类

钢纤维混凝土(SFRC,即Steel Fiber Reinforced Concrete)作为一种创新的复合材料,正逐渐在水工建筑、道路铺设、桥梁建设等多个领域彰显其独特优势。其核心在于将适量短钢纤维均匀掺入普通混凝土中,显著提升混凝土的性能。钢纤维作为SFRC的关键增强元素,种类繁多,形态各异,包括平直型、剪切型、端钩型及扭曲型等,以满足不同工程需求。平直型钢纤维形态简单直接,剪切型通过端部剪切处理增强与混凝土的黏结力,端钩型通过弯钩设计增强锚固效果,扭曲型则提供多方向增强作用,使混凝土受力更均匀。钢纤维还可根据材质分为普通碳钢纤维和不锈钢纤维等,前者力学性能良好且成本较低,广泛应用于各工程,后者耐腐蚀性能优异,适用于高耐久性要求场合。钢纤维的长度也是重要分类依据,短纤维(小于50mm)易于分散混合,适用于均匀性要求高的混凝土;中长纤维(50—100mm)增强效果好,施工性佳;长纤维(大于100mm)增强效果更显著,但施工搅拌难度较大,需根据工程需求慎重选择。在实际工程中,钢纤维混凝土的抗压强度、抗折强度、韧性、抗冲击性等基本性能受钢纤维类型、掺量、长度、形状及混凝土基体性能等多种因素影响^[1]。

1.2 钢纤维混凝土的增强机理

复合力学理论将钢纤维混凝土视作一种纤维强化体系,在这个体系中,钢纤维扮演着增强相的角色,而混凝土基体则是连续相,两者依据混合原理相互交织、共同作用,共同塑造了复合材料的整体性能。通过这一理论框架,我们可以深入推导出钢纤维混凝土的应力、弹性模量以及强度等一系列关键力学性能指标,这些指标不仅彰显了混凝土基体的本质特性,更凸显了钢纤维的加入对混凝土性能的显著提升作用。钢纤维凭借其高强度和高弹性模量,有效地增强了混凝土的承载能力,使得混凝土在面对外力挑战时,能够展现出更为卓越的力学性能。而纤维间距理论,则是基于线弹性断裂力学的原理,着重探讨了钢纤维如何干预和改变混凝土的裂缝发展进程。在混凝土材料中,裂缝的出现和扩展似乎是不可避免的,但钢纤维的加入却为这一过程带来了显著的变革,当混凝土内部产生裂缝时,钢纤维能够横跨裂缝两侧,通过黏结应力对裂缝的扩展进行有力的约束,这种约束作用不仅有效地遏制了裂缝的进一步蔓延,还显著提升了混凝土的抗拉强度和韧性。而且钢纤维的存在,使混凝土在承受拉力时,能够更加坚韧地抵抗裂缝的产生和发展,确保了其整体结构的完整与稳定,但复合力学理论和纤维间距理论并非孤立存在,而是相互补充、相互印证的。

2 钢纤维对水工混凝土力学性能的影响

2.1 抗压强度

钢纤维对水工混凝土力学性能的影响是一个多维度且复杂的过程,其中抗压强度作为评价混凝土性能的关键指标,受到了广泛关注。虽然钢纤维的加入对混凝土抗压强度的直接提升相对有限,但其在受压破坏时所展现出的更高韧性,为钢纤维混凝土在力学性能上的优势提供了有力佐证。在混凝土受压的过程中,均匀分布的钢纤维如同无数微小的钢筋,有效地增大了试件的压缩变形能力,使混凝土在受压破坏时能够保持一定的整体

性,避免了明显的碎块或崩落现象的出现,与普通混凝土受压时的碎裂状态形成了鲜明对比。而且钢纤维的掺入还对混凝土的内部结构产生了积极影响,它们填充了混凝土中的微小孔隙,减少了微裂缝的产生和发展,这对于提高混凝土的耐久性和使用寿命具有重要意义,但钢纤维掺量对混凝土抗压强度的影响并非线性关系,而是存在一个最佳的掺量范围。当掺量过低时,纤维数量不足,无法形成有效的增强网络,对抗压强度的增强作用并不明显;而当掺量过高时,纤维的结团现象会导致混凝土和易性变差,影响搅拌和浇筑过程,使得混凝土内部结构不均匀,进而降低其力学性能。

2.2 抗剪强度

钢纤维混凝土的抗剪强度相较于普通混凝土有着显著的提升,这一优势特性使其在众多工程领域中备受青睐。在剪切荷载作用下,混凝土内部易产生裂缝,并随荷载增加而不断扩展,最终导致结构破坏,但钢纤维的加入如同在混凝土中架设了无数座微小的桥梁,它们能够跨越裂缝两边,通过黏结应力对裂缝的开展和扩展进行强有力的约束,有效阻止了裂缝的进一步蔓延,并极大地提高了混凝土的抗剪承载能力,使结构在剪切荷载下更加稳定。而且钢纤维的均匀分布还改善了混凝土内部的应力分布状态,减少了应力集中现象的发生,从而提高了混凝土的整体力学性能和耐久性。钢纤维对混凝土抗剪强度的增强效果受多种因素影响,其中类型、长径比和掺量尤为关键,形状复杂的钢纤维,如端钩型、扭曲型等,能更好地与混凝土基体黏结,形成牢固的增强网络,增强效果更为显著;长径比较大的钢纤维能更好地跨越裂缝,形成有效的约束作用;而钢纤维的掺量则需根据具体需求和条件合理选择,充分发挥其在提高混凝土抗剪强度方面的优势,避免掺量过高导致混凝土和易性变差,影响施工性能^[1]。

2.3 抗弯强度

钢纤维混凝土的抗弯强度相较于普通混凝土具有显著优势,且这一优势随着钢纤维掺量的增加而愈发凸显,在弯曲荷载作用下,混凝土结构易因拉应力集中而产生裂缝,并随荷载持续作用逐渐扩展,导致结构破坏。钢纤维的加入为混凝土提供了额外的拉力承担机制,它们如同微小的钢筋镶嵌在混凝土基体中,与混凝土协同抵抗弯曲荷载,钢纤维凭借其高抗拉强度,能够跨越裂缝两边,通过黏结应力将裂缝两侧的混凝土紧密连接,有效延缓裂缝的开展和扩展速度,不仅提升了混凝土的抗弯承载能力,还显著改变了混凝土在弯曲荷载下的破坏形态。普通混凝土往往呈现脆性破坏,裂缝一

旦产生便迅速扩展导致结构破坏,而钢纤维的均匀分布使得混凝土在弯曲荷载下能产生更多微裂缝,这些微裂缝在钢纤维的约束下不会迅速扩展成破坏性大裂缝,从而实现了由脆性破坏向延性破坏的转变,提高了混凝土的韧性和变形能力,使混凝土在受力时能更好地吸收和分散能量,增强了结构的整体安全性。钢纤维混凝土的抗弯强度受多种因素影响,其中钢纤维的掺量、长径比、类型以及基体混凝土的强度尤为关键。钢纤维掺量越大,增强作用越明显;长径比较大的钢纤维能更有效地跨越裂缝形成约束;形状复杂的钢纤维如端钩型、扭曲型等能与混凝土基体更牢固地黏结;同时基体混凝土的强度越高,钢纤维混凝土的抗弯强度也相应提升。

2.4 劈裂抗拉强度

钢纤维混凝土在劈裂抗拉强度方面相较于普通混凝土展现出了显著的优势,这一提升主要归功于钢纤维在混凝土中所发挥的独特作用。在劈裂荷载的作用下,混凝土易因拉应力集中而产生裂缝,并且这些裂缝会迅速扩展,会导致结构破坏,钢纤维的加入为混凝土提供了一种高效的抗拉增强方式,它利用黏结应力对裂缝的开展和扩展进行有效的约束。钢纤维凭借高抗拉强度和良好的黏结性能,在劈裂荷载下能够承担部分拉力,从而减轻混凝土基体的拉应力,不仅延缓了裂缝的扩展速度,还显著提高了混凝土的抗拉承载能力。此外钢纤维在混凝土中的均匀分布还有效改善了混凝土的内部结构,填充了微小孔隙,降低了微裂缝的产生,使混凝土更加密实和均匀,进一步提升了劈裂抗拉强度。钢纤维对混凝土劈裂抗拉强度的增强效果受多种因素影响,其中掺量、长径比和类型尤为关键,一般钢纤维掺量越大、数量越多,增强的作用越明显;长径比较大的钢纤维能更好地跨越裂缝形成有效约束,但是钢纤维掺量过高会导致混凝土和易性变差,影响施工性能。

3 钢纤维混凝土力学性能试验研究

3.1 试验材料与方法

3.1.1 试验材料

试验材料的选择对混凝土性能具有决定性影响,所以本试验中所用的每一种材料都经过了精心挑选和严格把控。普通硅酸盐水泥作为混凝土的主要胶凝材料,不仅完全符合国家标准要求,而且性能优良,能为混凝土提供充足的强度和耐久性。在骨料方面,我们选用了粒径适中的天然河砂作为细骨料,其来源广泛、质量稳定,能为混凝土提供良好的颗粒级配和填充效果;同时选用粒径范围在5—20mm之间的连续级配碎石作为粗骨料,其强度高、硬度大,与细骨料搭配使用能显著提高

混凝土的密实度和力学性能。本试验还加入了长径比在60—80之间、直径约为0.5mm的剪切型钢纤维,以增强混凝土的抗裂性和韧性,拌合用水则选用了清洁无杂质的自来水,保证了混凝土拌合物的均匀性和稳定性。为了满足混凝土在工作性能方面的特定要求,还根据实际需要添加了适量的减水剂和引气剂等外加剂,前者能有效降低用水量、提高流动性和工作性能,后者则能在拌合物中引入适量微小气泡、改善和易性和抗冻融性能。

3.1.2 试验方法

(1) 试件制作。按试件的制作过程严格遵循了《钢纤维混凝土试验方法标准》的相关规定。为了确保试验结果的准确性和可比性,制作了标准立方体试件和标准棱柱体试件,分别用于进行抗压强度、抗折强度以及劈裂抗拉强度等力学性能的测试。标准立方体试件的尺寸为150mm×150mm×150mm,这种形状和尺寸的试件能够充分反映混凝土在受压状态下的性能表现。而标准棱柱体试件的尺寸则为150mm×150mm×550mm,其较长的形状更适合于进行抗折强度和劈裂抗拉强度的检测。(2) 成型与养护。将按照配方拌合好的混凝土均匀地倒入预先准备好的试模中,为了确保试件的密实度,使用振捣器对混凝土进行充分的振捣,排除其中的气泡和空隙,振捣完成后将试模表面抹平,确保试件的外观平整且尺寸准确。然后将成型好的试件放置在标准养护条件下进行养护,以确保其能够在规定的龄期内达到预期的强度,一般养护龄期设定为28天,这是混凝土强度发展的一个重要阶段。在养护期间还要定期对试件进行检查,确保其表面保持湿润,避免因为水分蒸发而导致强度下降。(3) 力学性能测试。采用了万能试验机这一专业的测试设备,对试件分别进行抗压强度、抗折强度和劈裂抗拉强度的测试,在测试过程中要严格按照操作规程进行,确保测试结果的准确性和可靠性,并且要详细记录每一项测试的数据,以便后续进行数据分析和处理^[1]。

3.2 试验结果与分析

试验结果显示,钢纤维的加入对混凝土抗压强度的

提升作用相对有限,当掺量控制在1%至2%范围内时,抗压强度相较于普通混凝土有所提高,但提升幅度不大,仅在5%至10%之间,这是因为钢纤维虽能改善混凝土内部结构,减少微裂缝产生,但对抗压强度的直接贡献较小。但是当钢纤维掺量过高(超过2%)时,会导致混凝土和易性变差,内部界面增加,微裂缝增多,反而使抗压的强度下降。相比之下,钢纤维对混凝土抗折强度的提升作用尤为显著,钢纤维的掺量在1%至2%之间时,混凝土抗折的强度可提高20%至50%。这主要得益于钢纤维在弯曲荷载下能承担部分拉力,有效延缓裂缝开展和扩展速度。此外钢纤维掺量、长径比及类型等因素对抗折强度影响显著,一般来说,掺量越大、长径比越大、类型越复杂,抗折强度越高。但是过高的掺量会导致和易性变差。并且钢纤维的加入也显著增强了混凝土的劈裂抗拉强度,掺量在1%至2%时,提升幅度可达30%至80%。这是因为钢纤维能跨越裂缝两边,通过黏结应力约束裂缝开展和扩展速度,钢纤维掺量、长径比及类型等因素对劈裂抗拉强度同样有显著影响,但过高掺量也会引发和易性变差等潜在问题。

结语

综上,本文通过系统的试验和分析,深入探讨了钢纤维对水工混凝土力学性能的影响。试验结果表明,钢纤维的加入能显著提升混凝土的抗折和劈裂抗拉强度,但是对抗压强度的提升相对有限。未来应进一步探索钢纤维混凝土的优化设计和应用,以满足不同工程的需求,推动其在水利等领域的广泛应用。

参考文献

- [1]张鲁吉.钢纤维对水工混凝土力学性能试验的研究[J].黑龙江水利科技,2025,53(1):54-57.
- [2]田丰.水工聚合物混凝土力学性能试验研究[J].河南水利与南水北调,2023,52(7):111-112.
- [3]沈晓明,黄永.钢纤维混凝土性能试验研究[J].建筑工程技术与设计,2021(31):2281-2282.